

다양한 외부 환경에서의 태양전지모듈의 열적 전기적 특성 평가

김경수*, 소정훈, 강기환, 유권중, 윤순길**

*한국에너지기술연구원, 충남대학교 재료공학과(kskim@kier.re.kr),
**충남대학교 재료공학과(sgyoon@cnu.ac.kr)

Evaluation of Electric and Thermal Characteristics of Photovoltaic Module under Various Temperature and Irradiance Conditions

Kim, Kyung-Soo* So, Jung-Hun Kang, Gi-Hwan Yu, Gwon-Jong Soon-Gil Yoon**

*Photovoltaic Research Center, Korea Institute of Energy Research,
*Chungnam National University, Materials Science and Engineering(kskim@kier.re.kr)
**Chungnam National University, Materials Science and Engineering(sgyoon@cnu.ac.kr)

Abstract

Normally, PV system is designed using local weather condition like lowest and highest temperature and irradiance. But this might give misleading results because it is not realistic data of PV module itself. To give more specific description of PV system, we tested photovoltaic(PV) modules' temperature, irradiance and maximum power generation characteristics from January to December in 2008 for 3kW PV system. From this, we could deeply analyze the accumulation temperature, electrical characteristics of PV module in various condition. So precise approach to PV system design can be done. The detail description is specified as the following paper.

Keywords : 태양전지모듈(photovoltaic module), 내구성(durability, weathering), 신재생에너지(new&renewable Energy), 최대출력(maximum power)

1. 서 론

태양전지모듈은 현재 KS C IEC61215(결정계 실리콘 지상용 태양전지 모듈_설계인증 및 형식승인)과 KS C IEC61646(지상용 박막

태양광 모듈의 설계요건과 형식승인)을 기본으로 하여 장기적 신뢰성 평가를 진행하고 있다. 이를 통하여 10년 또는 그 이상의 내구성을 확보하고 있다고 일반적으로 판단되고 있다. 그리고 태양광 시스템은 설치되는 지역의

투고일자 : 2010년 8월 26일, 심사일자 : 2010년 9월 1일, 게재확정일자 : 2010년 12월 7일
교신저자 : 김경수(kskim@kier.re.kr)

온도 및 일사강도 특성을 토대로 설치 용량에 따른 인버터의 입력 특성을 판단하여 어레이 및 인버터를 직병렬 연결하여 설계하고 있다. 그러나 실제로 태양전지모듈이 받게 되는 환경적 변화의 성분인 온도 특성은 그림 1에서와 같이 대기와 태양전지모듈의 온도차는 최대 30°C 이상의 차이가 나타날 수 있다. 이는 단순히 설치 지역의 대기 온도 데이터를 이용하여 태양광 시스템을 설계하는 경우에는 이론과 현실의 차이가 크게 나타날 수 있는 것이다.

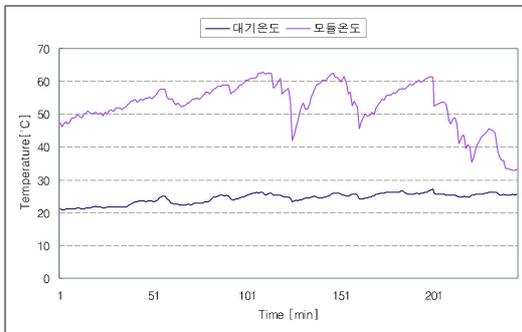


그림 1. 태양광모듈과 대기의 온도 측정

이는 더 실제적인 조건에서의 태양전지모듈의 특성 데이터를 참조하여 정밀한 시스템 설계 및 설치가 되어야 함을 의미한다.

따라서 본 논문에서는 3kW급 실리콘 결정질 태양전지모듈을 설치하여 모듈이 받게 되는 온도 및 일사조건을 토대로 단기(1분)에서 장기(1개월, 1년)의 모듈의 상태를 분석하고 초기 데이터(raw data)를 활용하여 최적의 태양광 시스템 설치를 위한 기본 정보를 제공하고 설치 조건에 적합한 최적의 인버터 설계를 위한 실측 자료를 전달하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 배경

태양광시스템은 주택용 3kW급에서 수십, 수백, 또는 GW급의 태양광이 설치되어 전력

을 생산하게 된다. 일반적으로 태양광시스템에 사용되는 태양전지모듈은 STC(Standard Test Condition)으로 정의하여 측정 온도 25°C, AM 1.5, 방사조도 1kW/m² 조건에서 기준셀을 이용하여 I-V curve를 측정하게 된다.

그러나 옥외에 설치되어 태양광시스템이 운영하게 되면 이 기준조건과 일치하는 상황보다는 다양하고 급변하는 조건에서 운영하게 된다. 보통은 일별 또는 월별 단위로 태양전지모듈에서 발생하는 전력량을 기준으로 시스템의 상태를 평가하고 있어 전력량에 영향을 주는 온도 및 일사량에 대한 구체적이고 다각화된 분석으로 평가하는 경우가 어려운 실정이다.

특히 태양광모듈을 사용하여 인버터의 사양에 맞추어 직병렬 연결 조건은 $\Delta V_{oc}/\Delta T$, $\Delta I_{sc}/\Delta T$, $\Delta P_{max}/\Delta I_{irradiance}$ 같이 태양전지모듈의 온도 및 광학적 특성과 설치되는 사이트의 기후조건 데이터를 이용하여 설계하고 있다.

그러나 실제조건에서는 태양전지모듈로부터 실측되어지는 온도 및 일사량의 데이터가 기본이 될 때 설치 사이트의 최적 설계를 가능하게 할 수 있다.

태양광 시스템의 성능특성을 평가하는 지수로 여러 가지가 있는데 이를 통하여 시스템의 발전 전력량 및 시스템의 성능 특성을 얻을 수 있게 된다.

1일 동안 태양전지모듈의 출력 전기를 시스템에 STC 조건에서 공칭 규격인 정격출력으로 가동할 수 있다고 가정할 때 1일 동안 가동할 수 있는 시간으로 다음의 식(1)과 같이 ‘등가 PV어레이 가동시간’이 정의된다.

$$Y_A = \frac{E_{A,d}}{P_{AS}} = \tau_r \times \frac{\sum_{day} P_A}{P_{AS}} [h/d] \quad (1)$$

여기서 Y_A 는 등가 PV어레이 가동시간, $E_{A,d}$ 는 일별평균 PV어레이 출력전력량, P_{AS} 는 PV어레이 정격출력, τ_r 는 측정 혹은 기록

주기 그리고 P_A 는 PV어레이 출력전력이다.

등가 태양 일조시간은 STC에서 일사강도인 1kW/m^2 을 기준으로 PV어레이면에 받는 일사량을 1일 동안 공급받는데 필요한 시간으로 다음의 식(2)으로 정의한다.

$$Y_r = \frac{H_{A,d}}{G_{T,ref}} = \tau_r \times \frac{(\sum_{day} G_T)}{G_{T,ref}} \quad (2)$$

여기서 Y_r 은 등가 태양 일조시간, $H_{A,d}$ 는 일별 평균 경사면 일사량, G_T 는 일사강도 그리고 $G_{T,ref}$ 는 STC에서의 일사강도인 1kW/m^2 이다.

본 논문에서는 2008년 1월 1일부터 2008년 12월 31일까지의 3kW 급 태양광시스템으로부터 얻어지는 온도 및 입사되는 일사량 데이터를 기준으로 일별 또는 월별 발생하는 전력뿐 아니라 태양광시스템을 구성할 때 고려되어야 할 태양전지모듈의 특성을 분석하여 구체적이고 세밀한 시스템 특성을 얻고자 하였다.

2.2 실험 방법

본 실험에 사용되어진 태양전지모듈은 결정질 실리콘 태양전지를 이용하여 Glass/EVA/SoalrCell/EVA/BackSheet의 형태의 구조로 그림 2에서와 같이 개방형(open rack) 구조로 3kW 가 설치되었다.



그림 2. 3kW 급 태양광발전 시스템(개방형구조)

2008년 1월 1일부터 2009년 12월 31일까지의 시험 기간 동안 측정주기 1분마다 태양전지모듈의 온도 및 일사강도 값을 모니터링 하였다.

태양전지모듈의 환경조건에 해당하는 온도 및 일사량 변화에 따른 출력 특성 변화를 관찰하기 위하여 최대 모듈 사이즈 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 까지 측정가능하며 방사균일도 $\pm 2\%$, 방사안정도가 $\pm 2\%$ 인 A급 Solar Simulator (PasanIIIb)를 사용하였으며 측정조건은 측정 온도 25°C , AM 1.5, 방사조도 1kW/m^2 조건에서 기준셀을 이용하여 I-V curve를 측정하였다. 인공광원은 Xenon Lamp 펄스타입으로 최대 일사량에서 10msec 의 Pulse Duration Time을 가지는 특성이 있다.

2.3 실험 결과

그림 3은 단결정 실리콘 태양전지모듈의 일사강도 변화에 따른 출력 특성을 측정한 것으로 일사량 $200\text{W/m}^2 \sim 1000\text{W/m}^2$ 에 따라 최대출력(Pmax)가 선형적인 특성으로 증가 및 감소하는 특성임을 확인하였다. 온도에 따른 특성을 살펴보고자 모듈의 온도를 실온 25°C 에서 58°C 까지 변화에 따른 최대출력 및 전압과 전류의 특성을 분석한 그래프이다. 이를 통하여 표 1과 같이 1°C 씩 증가함에 따라 25°C 측정값에 비하여 전압은 -0.3% , 전류는 0.05% , 최대출력은 -0.4% 의 특성 변화를 나타냄을 알 수 있었다.

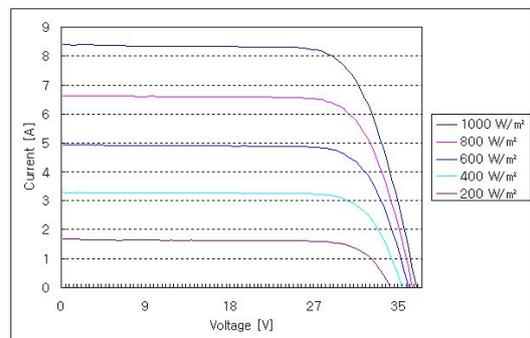


그림 3. 일사량 변화에 따른 전지모듈의 출력 변화

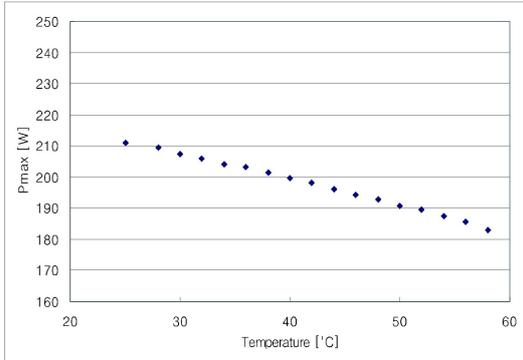


그림 4. 모듈 온도변화에 따른 전지모듈의 출력 변화

표 1. 태양전지모듈의 온도 계수 측정결과

ΔV_{oc} [%/°C]	ΔI_{sc} [%/°C]	ΔP_m [%/°C]
-0.30	0.05	-0.4

이를 토대로 태양전지의 출력변화는 모듈의 온도와 입사되는 일사 강도에 따라 아래와 같은 식(3)으로 표현될 수 있다.

$$P_{max} = \left(\frac{I_{radiance}}{1000W} \right) \times [P_{25^\circ C} - (T_{measure} - T_{25^\circ C}) \times 0.4 \times P_{25^\circ C}] \quad (3)$$

태양전지모듈은 그림 5에서와 같이 2008년 한 해 동안 외부 온도 및 일사 조건에서 -15°C에서 최대 75°C까지의 온도에 따른 열적 변화를 겪게 된다. X축은 온도변화 $\Delta 1^\circ C$ 의 조건에서 태양전지모듈이 1년 동안 각 온도에서 머물게 되는 총 시간을 누적하여 나타낸 것으로 히스토그램에서와 같이 최소 25°C에서 최대 35°C의 조건에서 약 600시간동안 머물게 되며 평균 25°C의 조건에서 고온 쪽으로 약간 비대칭적인 분포를 보이고 있다. 그리고 계절적인 특성을 살펴보면 그림 6과 그림 7에서와 같이 1월에는 0°C~10°C, 8월에는 40°C 이상의 고온도 특성이 뚜렷이 구분이 되게 된다.

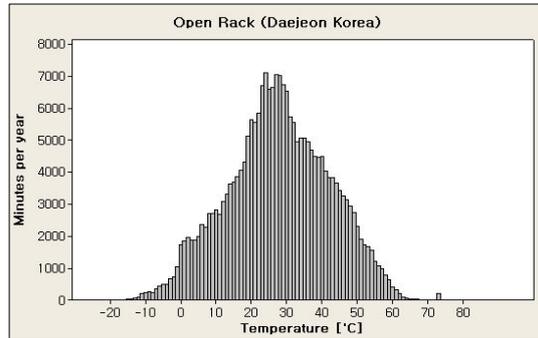


그림 5. 모듈이 일정 온도에서의 누적되는 시간(1년)

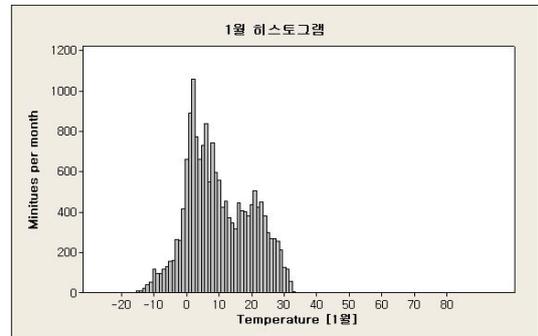


그림 6. 모듈이 일정 온도에서의 누적되는 시간(1월)

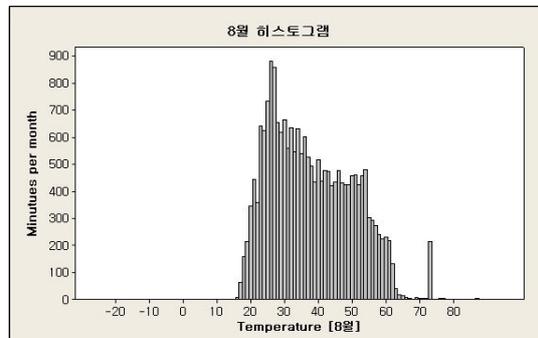


그림 7. 모듈이 일정 온도에서의 누적되는 시간(8월)

그림 8은 확률분포도로 1월부터 12월까지의 태양전지모듈이 머물게 되는 횟수를 각 온도에 따라 확률적으로 표현한 것으로 5월부터 9월까지는 태양전지모듈이 발전되는 시간의 50% 이상 모듈 온도가 25°C 이상의 조건에서 운전되는 특성이 있음을 확인할 수 있었다.

태양광시스템은 일반적으로 일간 또는 연간 생산되는 최종 전력량(kWh)로 시스템의 증가 일조시간을 계산하게 되는데 본 논문에서는 정격출력 200W인 태양전지모듈이 발전하게 되는 각 개별 발전 출력에 따른 횟수를 히스토그램의 형태로 그림 9에서와 같이 나타내어 보았다. 200W 정격 출력의 형태로 발전되는 경우는 횟수가 매우 낮았으며 아침 및 저녁에 인버터가 가동되는 시점인 30W 이하의 경우가 가장 많았으며 이외의 경우 70W에서 160W의 출력으로 발전특성을 나타내고 있었다. 실제 정격 출력 200W이상의 출력 범위를 초과 하는 경우는 극히 드문 것으로 확인되었다.

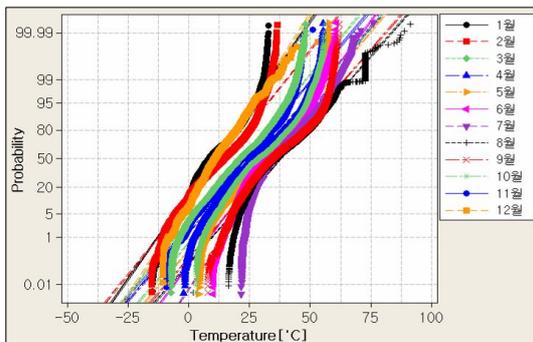


그림 8. 모듈의 온도의 확률 분포도(1년)

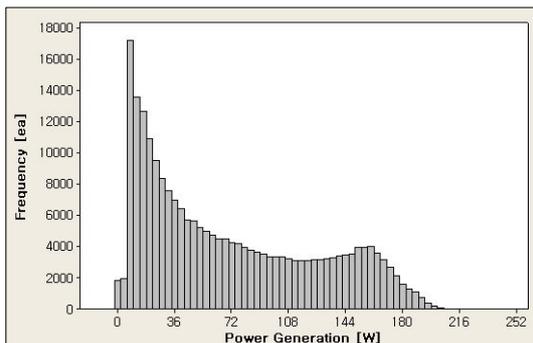


그림 9. 태양전지모듈의 발전 현황(연간)

그림 10은 태양광시스템의 증가 일조 시간을 계산한 것으로 5월에 5.1시간으로 가장 높았으며 12월에는 1.1시간으로 가장 낮은 운전 특성을 나

타내었다. 이를 표 2에 정리하여 나타내었다.

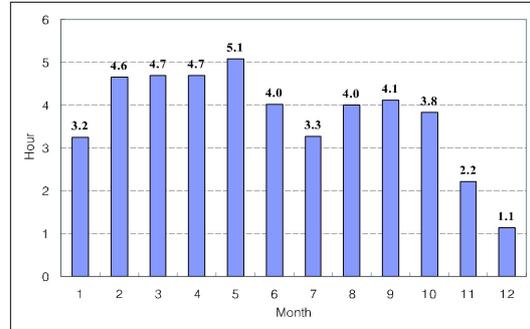


그림 10. 태양전지모듈의 발전시간 현황(월간)

표 2. 태양전지모듈의 월별 발전 현황

	月평균 발전(W)	月발전 시간(h)	月발전 량(Wh)	日발전 량(Wh)
1월	67.6	288.3	19,477	649
2월	92.4	301.5	27,866	929
3월	80.0	351.3	28,115	937
4월	75.7	372.3	28,194	940
5월	73.7	413.1	30,457	1,015
6월	58.6	410.7	24,085	803
7월	51.1	384.4	19,658	655
8월	67.9	353.9	24,034	801
9월	71.2	347.5	24,746	825
10월	69.9	328.9	22,984	766
11월	74.1	178.6	13,227	441
12월	67.8	100.1	6,787	226

그림 11과 그림 12는 각 5월과 12월에서의 온도 및 일사 조건에서의 태양전지모듈에서 발생하는 전력을 등고선 형태로 나타낸 것이다. 최대 일조 시간이 나타난 5월의 경우 최대 출력이 발생되는 때는 모듈온도 약 40°C와 일사량 900W/m²~1000W/m²의 경우이며, 최저 일조 시간이 나타난 12월에는 모듈온도 약 20°C와 일사량 800W/m²~900W/m²의 경우로 계절에 따른 온도 및 일사 특성을 나타내었다.

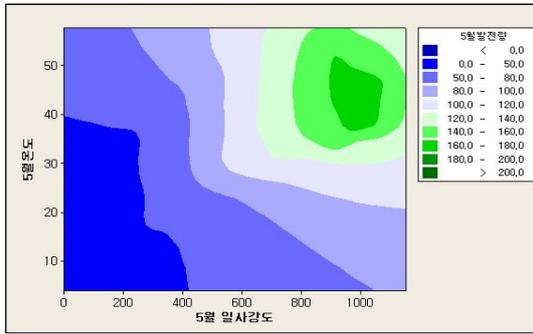


그림 11. 태양전지모듈의 온도-일사강도에 따른 발전량 등고선도(5월)

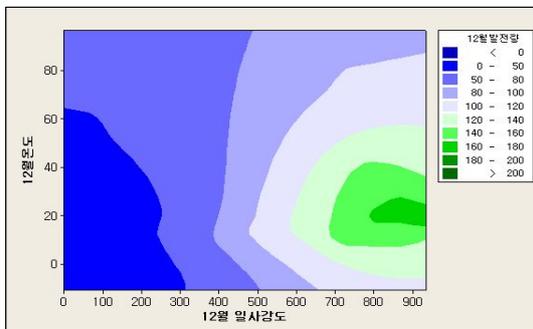


그림 12. 태양전지모듈의 온도-일사강도에 따른 발전량 등고선도(12월)

3. 결 론

본 논문에서는 2008년 한 해 동안 환경조건인 태양전지모듈의 온도, 일사강도 및 최대 발전 출력을 1분 단위로 모니터링 하여 결정질 실리콘 태양전지로 구성된 3kW 태양광시스템이 외부에 노출되어 발전하게 될 때의 외부 스트레스로 받게 되는 상황을 면밀하게 분석하고자 하였다.

모듈은 온도가 1°C 씩 증가함에 따라 25°C 측정값에 비하여 전압은 -0.3%, 전류는 0.05%, 최대출력은 -0.4%의 특성 변화를 가지고 있으며 모듈이 일정 온도에서 누적되는 시간을 분석한 결과 모듈 온도가 최소 25°C에서 최대 35°C의 조건에서 약 600시간동안 머물게 되며 평균 25°C의 조건에서 고온 쪽으로 약간 비대칭적인 분포를 보이고 있었다. 그리고 5월부터

9월까지의 태양전지모듈이 발전되는 시간의 50% 이상 모듈 온도가 25°C 이상의 조건에서 운전되는 특성이 있음을 확인할 수 있었다.

모듈의 정격출력 200W급의 형태로 발전되는 경우는 횡수가 극히 낮았으며 아침 및 저녁에 인버터가 가동되는 시점에서는 최대출력이 30W 이하의 경우가 가장 많았다. 이외의 경우 70W에서 160W의 출력으로 대부분의 발전특성을 나타내고 있었다.

본 논문을 통하여 특정지역에 설치된 태양광 시스템의 초기 데이터(raw data)를 활용하여 최적의 태양광 시스템 설치를 위한 기본 정보를 제공하고 설치 조건에 적합한 최적의 인버터 설계를 위한 실측 자료를 전달하고자 하였다.

참 고 문 헌

1. G.H.Kang, G.J.Yu, H.G.Ahn and D.Y.Han, "Consideration of Electrical Properties in Field-aged Photovoltaic Module", KIEEME, vol.17, no.12, p.1289, 2004.
2. G.H.Kang, K.S.Kim, C.H.Park, G.J.Yu, H.K.- Ahn and D.Y.Han, "Analysis of Photovoltaic module's Phenomena of aging with Acceleration Test", Proceeding of KIEE Annual Summer Conference, 2006.
3. Y. Meydbray, K. Wilson, E. Brambila, A. Terao, S. Daroczi Krauter, "Evaluation of High-Temperature Exposure of Photovoltaic Modules", Conference Paper NREL/CP-520-45986 June 2009
4. 신재생에너지 설비심사세부기준 PV101 and 102 : 2009
5. Jung.Hun.So, "Comparison Results of Photovoltaic Module Performance using Simulation Model" KSES, v.28 n.4 (2008-08)